

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Владимир В.С., Жаринов В.В. Уравнения математической физики. – М.: Физматлит, 2000. – 398 с.
2. Кац Дж., Рабинович Е. Химия урана. Т. 1. – М.: Изд-во иностр. лит-ры, 1954. – 490 с.
3. Зуев В.А., Орехов В.Т. Гексафториды актиноидов. – М.: Энергоатомиздат, 1991. – 240 с.

4. Теплообменные аппараты холодильных установок. Изд. 2-е, перераб. и доп. / Под общ. ред. Г.Н. Даниловой. – Л.: Машиностроение, 1986. – 303 с.
5. Матвеев Г.А. Теплотехника. – М.: Высшая школа, 1981. – 480 с.
6. Данилина Н.И., Дубровская Н.С., Кваша О.П. Численные методы. – М.: Высшая школа, 1976. – 368 с.

УДК 66.023.2

РАЗДЕЛИТЕЛЬНЫЙ КАСКАД ИЗ ОБМЕННЫХ ЭЛЕМЕНТОВ

И.А. Тихомиров, Д.Г. Видяев, А.А. Гринюк

Томский политехнический университет
E-mail: orlov@phtd.tpu.edu.ru

Выведено дифференциальное уравнение каскада из разделительных элементов. Анализ работы каскада в безотборном режиме и режиме с отбором показал, что минимальный поток для каскада из элементов совпадают с минимальным потоком для каскада.

Одной из важных характеристик амальгамно-обменного каскада является величина потока амальгамы, которая не должна быть меньше, чем J_{\min} [1].

Чтобы снизить величину J_{\min} надо уменьшить разность $C_k - C$, т.е. разбить длинную колонну с большим раздвижением $C_k - C$ на ряд мелких элементов, достигая с помощью каскада из таких элементов желаемого суммарного раздвижения.

Представляет интерес рассмотреть каскад из обменных элементов [2, 3], состоящих из одной или нескольких теоретических тарелок.

Проанализируем характеристики каскада из обменных элементов и сравним их с каскадом из обменных колонн, рисунок:

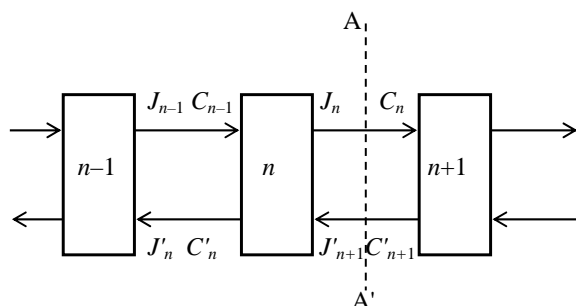


Рисунок. Каскад из обменных элементов

На рисунке показаны прямые и обратные потоки с необходимыми для анализа работы каскада обозначениями: J_n – поток амальгамы, J_{n-1} – поток амальгамы на $n-1$ элементе, J'_n – поток раствора, J'_{n+1} – поток раствора на $n+1$ элементе, C_n, C_{n-1} и C'_n, C'_{n+1} – концентрации изотопов в амальгаме и в растворе на $n, n-1$ и $n+1$ обменных элементах. С целью вывода дифференциального уравнения каскада из таких элементов составим для сечения AA' систему уравнений материального баланса без учета потерь в каскаде:

$$J_n - J'_{n+1} = q_k - \text{отбор по веществу,}$$

$$J_n C_n - J'_{n+1} C'_{n+1} = q_k C_k - \text{отбор по изотопу,}$$

где C_k – концентрация отбора.

Из системы получаем:

$$J_n (C_n - C'_{n+1}) = q_k (C_k - C'_{n+1}). \quad (1)$$

Если из левой части ур. (1) вычесть и прибавить величину $J_n C_{n+1}$, то получим:

$$J_n (C_{n+1} - C'_{n+1}) - J_n (C_{n+1} - C_n) = q_k (C_k - C'_{n+1}). \quad (2)$$

Т.к. $C_{n+1} - C_n = \frac{\Delta C}{\Delta n} \approx \frac{dC}{dn}$, а $C_{n+1} - C'_{n+1} = \Delta C$, то ур. (2), с учетом того, что $C_{n+1} \cong C_n$, переписывается в виде:

$$J_n \Delta C - J_n \frac{dC}{dn} = q_k (C_k - C_n),$$

откуда:

$$\Delta C - \frac{dC}{dn} = \frac{q_k (C_k - C_n)}{J_n}. \quad (3)$$

Перенос легкого изотопа за счет обмена на $n-1$ элементе определяется соотношением [4]:

$$J_n C_n - J_{n-1} C_{n-1} = J_0 [\alpha C'_n (1 - C_n) - C_n (1 - C'_n)],$$

где J_0 – плотность обменного потока, α – коэффициент разделения.

Примем:

$$(J_n C_n - J_{n-1} C_{n-1}) \cong J_n \frac{dC}{dn}.$$

С учетом: $\alpha = 1 + \varepsilon$; $J_{n-1} \cong J_n$; $C_{n-1} \cong C_n$; $C_n - C'_n = \Delta C$, то будем иметь:

$$J_n \frac{dC}{dn} = J_0 [\varepsilon C_n (1 - C_n) - \Delta C], \quad (4)$$

где ε – коэффициент обогащения.

Из ур. (4) следует:

$$\Delta C = \varepsilon C_n (1 - C_n) - \frac{J_n}{J_0} \frac{dC}{dn}. \quad (5)$$

Если из ур. (5) подставить значение ΔC в ур. (3) и упустить у C и J индексы, то будем иметь:

$$\left(1 + \frac{J}{J_0}\right) \frac{dC}{dn} = \varepsilon C(1 - C) - \frac{q_k(C_k - C)}{J}. \quad (6)$$

Это и есть уравнение каскада из обменных элементов.

Ур. (6) отличается от соответствующего уравнения колонны множителем $\left(1 + \frac{J}{J_0}\right)$, т.е.:

$$\left(\frac{dC}{dn}\right)_{\text{колонны}} = \left(1 + \frac{J}{J_0}\right) \frac{dC}{dn} \text{ — для каскада элементов.}$$

Для анализа уравнения (6) запишем его в виде:

$$\frac{dC}{dn} = \varepsilon_f C(1 - C) - \frac{q_k(C_k - C)}{J_f},$$

где: $\varepsilon_f = \frac{\varepsilon}{\left(1 + \frac{J}{J_0}\right)}$; $J_f = J \left(1 + \frac{J}{J_0}\right)$ — поток амальгамы.

Анализ для безотборного режима:

$$\frac{dC}{dn} = \varepsilon_f C(1 - C). \quad (7)$$

Проинтегрируем ур. (7):

$$\int_{C_0}^C \frac{dC}{C(1 - C)} = \int_0^n \varepsilon_f dn, \text{ получаем:}$$

$$n_f = \frac{1}{\varepsilon_f} \ln \frac{C/(1 - C)}{C_0/(1 - C_0)} = \frac{1}{\varepsilon_f} \ln \frac{\beta}{\beta_0}.$$

n_f — количество ступеней в каскаде из обменных элементов.

Известно, что для обычной колонны

$$n = \frac{1}{\varepsilon} \ln \frac{\beta}{\beta_0}, \quad \beta \text{ — конечная относительная концен-}$$

трация целевого изотопа в амальгаме, β_0 — начальная относительная концентрация целевого изотопа в амальгаме, т.е. для достижения той же степени

разделения требуется элементов в $\left(1 + \frac{J}{J_0}\right)$ раз

больше, чем в обычной колонне.

Анализ для режима с отбором:

Представляет интерес рассмотреть случай $\frac{dC}{dn} \cong 0$:

$$(J_f)_{\min} = \frac{q_k(C_k - C)}{\varepsilon_f C(1 - C)}. \quad (8)$$

Если в выражение (8) подставить значения ε_f и J_f , получаем:

$$J_{\min} = \frac{q_k(C_k - C)}{\varepsilon C(1 - C)}.$$

Это показывает, что минимальные потоки для каскада из элементов совпадают с минимальными потоками для колонны.

Таким образом, выведено дифференциальное уравнение каскада из разделительных элементов. С его помощью проанализирована работа каскада в безотборном режиме и режиме с отбором. Показано, что уравнение каскада отличается от уравнения

колонны множителем $\left(1 + \frac{J}{J_0}\right)$, а минимальные

потоки для каскада из элементов совпадают с минимальными потоками для колонны.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Тихомиров И.А., Видяев Д.Г., Гринюк А.А. Уравнение амальгамно-обменной колонны в стационарном режиме работы // Известия Томского политехнического университета. — 2005. — Т. 308. — № 2. — С. 95–97.
2. Розен А.М. Теория разделения изотопов в колоннах. — М.: Атомиздат, 1960. — 436 с.
3. Тихомиров И.А., Орлов А.А., Видяев Д.Г. Разделение изотопов и элементов электрохимическими и обменными методами. — М.: Энергоатомиздат, 2003. — 203 с.
4. Тихомиров И.А., Видяев Д.Г., Гринюк А.А. Кинетика изотопного обмена и величина обменного потока между фазами // Известия Томского политехнического университета. — 2004. — Т. 307. — № 6. — С. 81–84.